

Mecanismos utilizados para medir capacidades de innovación tecnológica en las organizaciones: resultados desde un análisis bibliométrico

Claudia Marcela Gómez Cano¹

Jhoany Alejandro Valencia Arias²

Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, Medellín, Colombia

Recibido: enero de 2020 – Revisado: abril de 2020 – aceptado: mayo de 2020

Referencia norma APA: Gómez-Cano, C. M., & Valencia-Arias, J. A. (2020). Mecanismos utilizados para medir capacidades de innovación tecnológica en las organizaciones: resultados desde un análisis bibliométrico. *Rev. Guillermo de Ockham*, 18(1), 69-79. doi: <https://doi.org/10.21500/22563202.4550>

Resumen

Las capacidades de innovación tecnológica son un factor crítico dentro de las organizaciones para responder a los avances tecnológicos y a la intensificación del conocimiento, por lo cual la utilización de mecanismos para medirlas se convierte en una valiosa herramienta para el diagnóstico y la formulación de políticas que favorecen la gestión tecnológica. Dada esta necesidad, el objetivo de este artículo es identificar los mecanismos utilizados para la medición de capacidades de innovación tecnológica a partir de análisis bibliométrico. Entre los resultados, se indica que estas capacidades pueden ser mediadas a través de variables cualitativas y cuantitativas usando el análisis envoltorio de datos (DEA), lógica difusa y procesos de análisis jerárquicos, entre otros. Sin embargo, cada empresa puede adoptar una herramienta propia que permita medir sus capacidades con base en las características y variables propias de cada sector al que pertenece. Finalmente, se concluye que el problema es relevante para las organizaciones, pues las capacidades de innovación tecnológica potencializan la innovación, el desarrollo tecnológico, la generación de conocimiento y la investigación, por ende, generan ventajas competitivas y un mejor desempeño empresarial.

Palabras clave: capacidades de innovación tecnológica, desarrollo tecnológico, desempeño empresarial, gestión tecnológica, tendencias de investigación.

Mechanisms used to measure technological innovation capabilities in organizations: results from a bibliometric analysis

Abstract

The technological innovation capabilities are a critical factor within organizations to respond to technological advances and the intensification of knowledge; therefore, the use of mechanisms to measure them becomes a valuable tool for the diagnosis and formulation of policies that favor technological management. Given this need, the objective of this article is to identify the mechanisms used for the measurement of Technological Innovation Capacities, based on

1. Química farmacéutica. Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, Medellín, Colombia. Contacto: claudiagomez72929@correo.itm.edu.co
2. PhD en Ingeniería, Industria y Organizaciones. Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, Medellín, Colombia. Contacto: jhoanyvalencia@itm.edu.co

bibliometric analysis. Among the results it is indicated that these capacities can be mediated through qualitative and quantitative variables using Data Envelopment Analysis (DEA), Fuzzy Logic, Hierarchical Analysis Processes, among others; However, each company can adopt its own tool to measure its capabilities taking into account the characteristics and variables of each sector to which it belongs. Finally, it is concluded that the issue is relevant for organizations, as the Technological Innovation Capabilities, potentialize innovation, technological development, knowledge generation, research and, therefore, generate competitive advantages and better business performance.

Keywords: Capabilities of technological innovation, technological development, business performance, technological management, research trends.

Introducción

La innovación surge como un aspecto prioritario para las empresas y como una herramienta de impacto superior para alcanzar el éxito organizacional y de la cual se resalta su alto potencial para el crecimiento económico de largo plazo (García, Quintero, & Arias, 2014). La innovación en nuevos productos y procesos es impulsada por las demandas emergentes y la necesidad de aumentar la productividad con el fin de responder a una mayor competencia provocada por la globalización. Al mismo tiempo, el cambio tecnológico puede aumentar la competencia nacional e internacional a medida que las empresas buscan capitalizar sus capacidades y aprovechar al máximo estas nuevas oportunidades (Flor & Oltra, 2005).

Las organizaciones apuntan a que la innovación sea algo sistemático que pueda gestionarse, medirse y controlarse, por lo que se hace necesario el desarrollo y fortalecimiento de habilidades y capacidades que permitan dicho fin. Aparecen, entonces, las capacidades de innovación tecnológicas (CIT), consideradas un factor crítico dentro de las empresas para satisfacer las demandas y enfrentar los desafíos que surgen de la globalización del mercado, los avances tecnológicos y la intensificación del conocimiento (Flor & Oltra, 2005; García *et al.*, 2014). En este contexto, medir las CIT en las empresas se convierte en una valiosa herramienta para el diagnóstico y la formulación de políticas que favorezcan el cambio y la gestión tecnológica, además de complementar los ya tradicionales indicadores de I+D (Aguirre, 2010).

Por lo anterior, surge la necesidad de observar cómo ha evolucionado la temática y cuáles son las tendencias que se están presentando frente a los mecanismos utilizados para medir las CIT en las organizaciones. Para ello, se desarrolló un análisis bibliométrico con el fin de identificar la evolución de la literatura respecto a este campo de investigación. Este tipo de análisis son de gran utilidad para los investigadores, pues permiten la identificación del *corpus* de la literatura en su sentido más amplio (Ellegaard & Wallin, 2015).

En este sentido, el propósito fundamental de este artículo es identificar los mecanismos utilizados para la medición de las capacidades de innovación tecnológica a partir de un análisis bibliométrico. El artículo presenta, en primer lugar, un marco teórico que contextualiza acerca de las CIT. En segunda instancia, se presenta la metodología utilizada para hacer esta investigación, la cual se basa en un análisis bibliométrico. Posteriormente, se presentan los resultados y la discusión y por último, las conclusiones.

Marco teórico

Capacidades de innovación tecnológica

Las capacidades de innovación tecnológica son habilidades y conocimientos que le permiten a las organizaciones adaptarse a cambios tecnológicos inesperados, desarrollar productos y utilizar nuevos procesos tecnológicos para satisfacer sus necesidades actuales y futuras (Adler & Shenbar, 1990; Lall, 1992). Son consideradas un factor clave de la ventaja competitiva, pues facilitan y respaldan las estrategias de innovación tecnológica (Guan & Ma, 2003; Yam, Guan, Pun, & Tang, 2004).

Estas habilidades abarcan aspectos como la tecnología, el producto, el proceso, los conocimientos, la experiencia (Yam *et al.*, 2004), y las destrezas requeridas para generar y administrar el cambio tecnológico (Domínguez & Brown, 2004), con el fin de lograr la eficacia del proceso de innovación y consecuentemente, la gestión de novedades (Gómez, 2011; Winter, 2003), lo que ayuda en las organizaciones a mantener la competitividad en precio y en calidad (Kim, 2001).

Según lo anterior, se puede decir que las capacidades de innovación tecnológica son un grupo de características particulares definidas como las habilidades y conocimientos adquiridos deliberadamente para obtener un mejor desempeño innovador y económico. Sin embargo, estos conceptos manifiestan la intangibilidad de este tipo de recursos, lo cual hace que su medición sea compleja ya que implica la interacción de diferentes variables con múltiples dimensiones e indicadores (Wang, Lu, & Chen, 2008).

Clasificación de las capacidades de innovación tecnológica

A continuación, se definen algunas de las clasificaciones de las CIT (Tabla 1), que en su mayoría se encuentran alineadas con aspectos funcionales de la organización, entre los que se encuentran I+D, producción, mercadeo, organización, asignación de recursos, planeación estratégica y aprendizaje organizacional (Gómez, 2011).

Tabla 1
Clasificación de las CIT

Capacidad	Descripción
Capacidad de I+D	Es la capacidad para generar ideas, gestionar el portafolio de proyectos de I+D+i y proteger, valorar, negociar y contratar tecnología (Robledo, López, Zapata, & Pérez, 2010). Tiene asociados indicadores como el porcentaje de investigadores empleados, la tasa de éxito de los productos de I+D, la autogeneración de productos innovadores, el número de patentes y la intensidad de I+D, entre otros (Wang <i>et al.</i> , 2008).
Capacidad de aprendizaje	Es la capacidad de identificar, asimilar y explotar nuevo conocimiento del entorno, esencial para el éxito competitivo de una empresa (Guan & Ma, 2003; Guan, Yam, Mok, & Ma, 2006; Yam <i>et al.</i> , 2004).
Capacidad de asignación de recursos	Es la capacidad para identificar, adquirir y asignar apropiadamente los recursos (capital, experiencia y tecnología a los procesos) necesarios para innovar (Guan <i>et al.</i> , 2006; Robledo <i>et al.</i> , 2010; Yam <i>et al.</i> , 2004).
Capacidad de producción	Se refiere a la capacidad de transformar los resultados de I+D en productos o mejoras en la calidad de los mismos, de tal manera que cumplan con las necesidades del mercado y que puedan ser fabricados de acuerdo con los requerimientos de diseño (Guan & Ma, 2003; Guan <i>et al.</i> , 2006; Yam <i>et al.</i> , 2004).
Capacidad de mercadeo	Es la capacidad de una empresa para publicitar y vender productos con base en la comprensión de las necesidades del consumidor, el entorno competitivo, los costos y beneficios, y la aceptación de la innovación (Guan & Ma, 2003; Guan <i>et al.</i> , 2006; Yam <i>et al.</i> , 2004).
Capacidad de organización	Es la capacidad de constituir una estructura organizacional bien establecida, coordinar el trabajo de todas las actividades hacia objetivos compartidos e influir en la velocidad de los procesos innovadores a través de la infraestructura que crea para proyectos de desarrollo (Guan & Ma, 2003).
Capacidad de planeación estratégica	Es la capacidad de una empresa para identificar las fortalezas y debilidades internas y las oportunidades y amenazas externas, formular planes de acuerdo con la visión corporativa y la misión empresarial y ajustar los planes para su implementación (Yam <i>et al.</i> , 2004).

Fuente: elaboración propia con base en los autores mencionados

Este tipo de clasificaciones obedece a la necesidad de relacionar las capacidades de innovación tecnológica con

aspectos y recursos concretos de la organización, de tal manera que estos puedan ser medibles y observables mediante variables cualitativas y cuantitativas, lo cual es un aporte a la construcción de marcos conceptuales para estructurar métodos de medición de capacidades (Gómez, 2011).

Metodología

Con el fin de identificar los mecanismos utilizados para la medición de las CIT en las organizaciones, se hizo un análisis bibliométrico y se seleccionó la base de datos *Scopus* para la búsqueda de información bibliográfica, ya que ofrece acceso a diferentes bases de datos interdisciplinarias, proporciona herramientas para gestionar la información y cumple otros criterios como la cantidad de citaciones y la accesibilidad (Hall, 2011). Los análisis bibliométricos de la producción científica son necesarios para valorar el estado actual de la investigación, así como las contribuciones de los investigadores y países en los campos del conocimiento (Corrales, Fornaris, & Reyes, 2017).

Se definió la ecuación de búsqueda considerando como criterios de búsqueda los términos equivalentes a capacidades de innovación tecnológica (*capacit* - capabilit* - competenc* - measur* - evaluat* - technologic* - innovat**), sin restricción de tiempo, esto a fin de que la ecuación arrojara los registros publicados desde los inicios de la temática hasta el presente y de esta manera obtener un horizonte más amplio. Finalmente, se obtuvo la siguiente ecuación de búsqueda:

(TITLE (capacit OR capabilit* OR competenc*) AND TITLE (measur* OR evaluat*) AND TITLE (technologic* W/2 innovat*)) OR (KEY (capacit* OR capabilit* OR competenc*) AND KEY (measur* OR evaluat*) AND KEY (technologic* W/2 innovat*))*

Luego de constatar que los resultados arrojados hicieran referencia a la temática de estudio, se calcularon indicadores bibliométricos considerados una herramienta en los procesos de evaluación científica, pues permiten convertir una variable cualitativa como los artículos, en cuantitativa, susceptible de ser medida y analizada (Monteserín, 2016). Existen, principalmente, tres tipos de indicadores bibliométricos: los indicadores de cantidad, que miden la productividad; los indicadores de calidad, que miden el impacto, y los indicadores de colaboración, que miden la conectividad entre autores (Pinto & Fernandes, 2015).

Los indicadores de cantidad, como su nombre lo indica, se basan en el volumen o recuento de publicaciones científicas; es decir, miden la productividad en el campo

de estudio. Los indicadores de calidad están relacionados con el impacto de las publicaciones. Generalmente se mide por la cantidad de veces que una publicación es citada por otras, es decir, su número de citaciones. Puede obtenerse el impacto por publicación por año, revista y autor (Durieux & Gevenois, 2010).

Finalmente, se procedió a hacer una revisión exploratoria de los artículos con el fin de identificar explícitamente los mecanismos utilizados para medir las CIT en las organizaciones. Se seleccionaron para este análisis aquellos artículos en los que en su resumen (*abstract*) se mencionara explícitamente la medición de CIT en las empresas. De cada autor analizado se retomaron elementos conceptuales (modelos, métodos, metodologías para la medición de capacidades de innovación) y también aspectos estadísticos que permiten medir dichas capacidades para el contexto las organizaciones.

Resultados y discusión

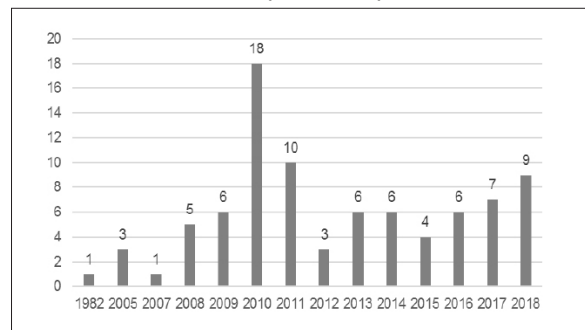
El uso de la ecuación de búsqueda previa arrojó un total de 86 registros diferentes. Con base en estos resultados se calcularon indicadores bibliométricos, los cuales son de gran ayuda para los investigadores a la hora de medir la calidad de las publicaciones científicas (Durieux & Gevenois, 2010).

Indicadores de cantidad

En la Figura 1 se presenta el indicador denominado “cantidad de publicaciones por año”, que muestra un creciente interés por la temática en los últimos años, excepto los años 2012 y 2015. El 2010 es el año de mayor productividad, con 18 publicaciones. Después de este año el número de publicaciones disminuyó, ya que la medición de capacidades de innovación se especializó en sectores e industrias específicos. Entre el periodo 2015-2018 se evidencia una tendencia creciente en el número de publicaciones, por lo cual se considera que el asunto está cobrando vigencia, pues en esta época en la que se da una mayor competencia provocada por la globalización, las capacidades de innovación tecnológica les permiten a las empresas innovar, un requisito básico para competir de manera efectiva en los mercados.

Con respecto a los autores más productivos, se determinó el indicador “cantidad de publicaciones por autor”. En la Figura 2 se pueden observar los diez autores con más publicaciones. Entre los más importantes encontramos a Chiebin Chen, Iuanyuan Lu y Chunhsien Wang, afiliados a diferentes instituciones en Taiwán que

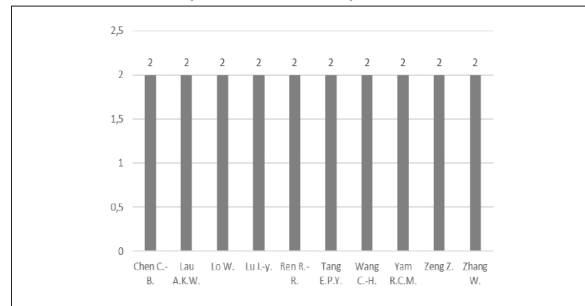
Figura 1
Cantidad de publicaciones por año



Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

han trabajado en conjunto en la publicación de artículos sobre mecanismos para medir las CIT en empresas de alta tecnología, adoptando una medida difusa y un método integral igualmente difuso y no aditivo para medir múltiples variables cuantitativas y cualitativas (Wang *et al.*, 2008).

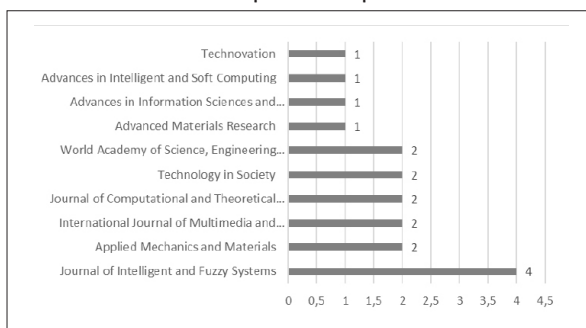
Figura 2
Cantidad de publicaciones de los primeros diez autores



Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

Los resultados de las diez revistas más productivas se presentan en la Figura 3, como indicador de “cantidad de publicaciones por revista”. La revista *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems* es la más importante en términos de cantidad, con cuatro publicaciones. El principal objetivo de esta revista es fomentar los avances en el conocimiento y ayudar a difundir los resultados relacionados con cuestiones como lógica difusa, sistemas inteligentes y aplicaciones basadas en la web. Otras revistas con publicaciones en esta temática son *Applied Mechanics and Materials*, *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* y *Technology In Society*, cada una con dos publicaciones. Según lo anterior, las investigaciones sobre las CIT son de interés para revistas de diversas temáticas, por lo tanto los mecanismos para medir las CIT (procesos de análisis jerárquico, sistemas difusos, herramientas sistémicas) se pueden aplicar a diversos campos del conocimiento.

Figura 3
Cantidad de publicaciones por revista

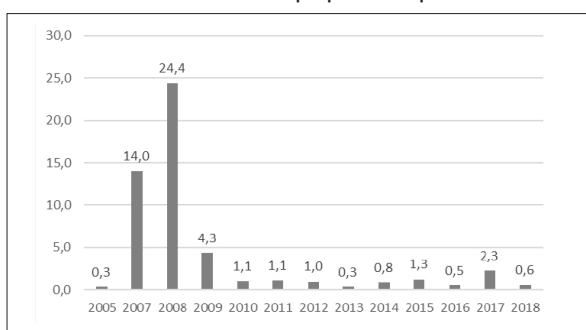


Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

Indicadores de calidad

El análisis bibliométrico permite identificar los años con un mayor impacto sobre la materia. En la Figura 4 se muestran los resultados relativos a la cantidad de citas por publicación por año. Se observa que los años 2007 y 2008 son de gran impacto en la literatura, con un número promedio de citas por publicación de 14,0 y de 24,4 respectivamente.

Figura 4
Cantidad de citas por publicación por año

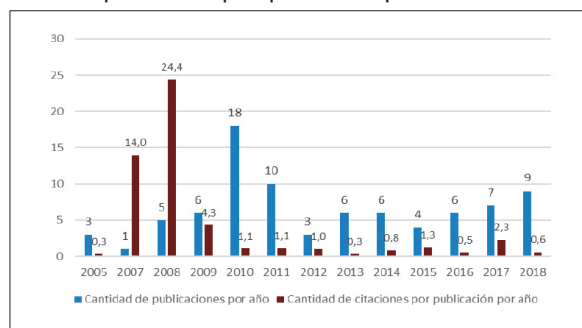


Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

En los resultados obtenidos al comparar el impacto por año con la productividad anual (Figura 5), se observa que las cifras más relevantes de los años de mayor impacto están definidas en los años 2007 y 2008, mientras que la relevancia de la productividad anual está definida entre los años 2010 y 2011. De lo anterior se puede inferir que la temática se popularizó en el 2008 con la publicación del artículo *Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty*, citado en 116, lo que influyó, en los años posteriores, en el aumento de la publicación sobre medición de Capacidades de Innovación Tecnológica en las organizaciones.

La Figura 6 muestra las diez primeras revistas por cantidad de citación por publicación. La primera de ellas es *Technovation*, con 116 citas para su único artículo

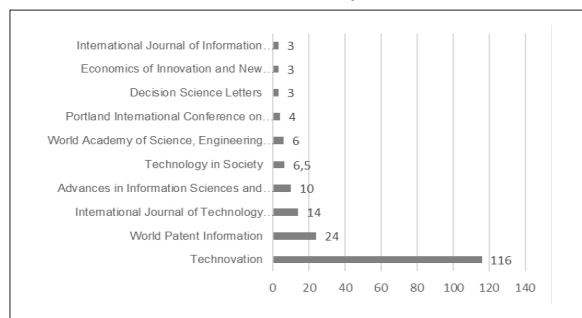
Figura 5
Comparación del impacto por año con la productividad anual



Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty publicado en el año 2008, que describe un mecanismo para medir las CIT en empresas de alta tecnología utilizando sistemas difusos (Wang *et al.*, 2008). Seguidamente, se tienen *World Patent Información*, con 24 citas para su artículo *A patent based evaluation of technological innovation capability in eight economic regions in PR China*, en el año 2009. En tercer lugar, se encuentra la revista *International Journal of Technology Management* con 14 citas para su artículo *Fuzzy multiattribute analysis for evaluating firm technological innovation capability* del año 2007.

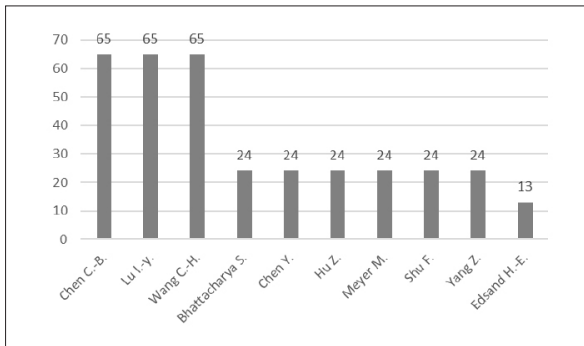
Figura 6
Cantidad de citas por revista



Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

En la Figura 7 se presentan los autores con mayor cantidad de citas por publicación. Chunhsien Wang, Luanyuan Lu y Chiebin Chen son los autores con mayor impacto, con un total de 65 citas por artículo publicado. Su artículo *Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty*, publicado por *Technovation* en el 2008, propone la utilización de sistemas difusos que incorporan estructuras jerárquicas, medidas difusas y métodos integrales difusos no aditivos, como mecanismo para medir las CIT en empresas de alta tecnología. Con este artículo, los autores obtuvieron un total de 116 citas, lo que corresponde a la revista y al año con mayor impacto.

Figura 7
Cantidad de citaciones por autor por artículo

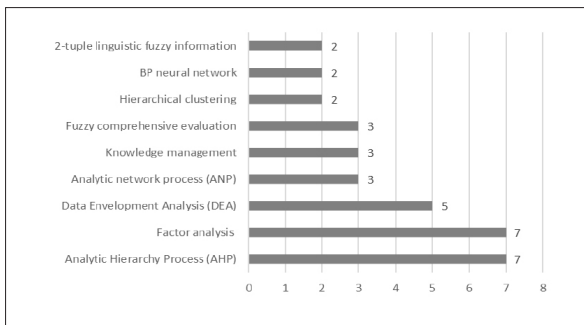


Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

Análisis bibliométrico de tendencias temáticas

En la Figura 8 se muestran las principales temáticas que arrojó la ecuación de búsqueda. El comportamiento de las palabras clave evidencia el crecimiento en el uso del “análisis factorial”, un método estadístico para identificar la correlación entre variables (Thompson, 2007). Otra temática relevante es “Proceso de análisis jerárquico (AHP)”, que hace referencia al proceso de jerarquía analítica que subdivide un problema complejo de toma de decisiones o un problema de planificación en sus componentes o niveles y organiza estos niveles en un orden jerárquico ascendente (Saaty, 2005).

Figura 8
Principales palabras claves

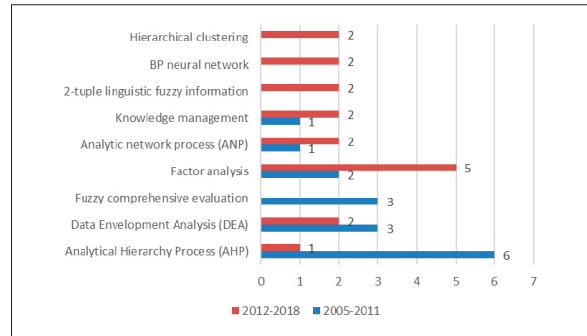


Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

Con la finalidad de identificar tendencias y posibles áreas de investigación, se presenta en la Figura 9 la dinámica de las palabras clave (*keywords*), con temas crecientes, decrecientes y emergentes. La metodología para obtener estas gráficas se basó en la división de la ventana de observación en dos periodos: el primero entre 2005 y 2011 y el segundo entre 2012 y 2018. Posteriormente, se hizo el conteo de las palabras clave, se agruparon las palabras similares y se procedió a graficar su evolución en los dos periodos, los cuales se definieron según el número

de estudios en la temática. Este análisis se efectuó para poder identificar las nuevas líneas de investigación que se van posicionando en el campo de las capacidades de innovación tecnológica.

Figura 9
Temas crecientes, decrecientes y emergentes



Fuente: elaboración propia a partir del análisis bibliométrico

Según la figura anterior, los temas con mayor crecimiento, son:

Análisis factorial. Permite explicar un número amplio de ítems que forman parte de una escala con un número reducido –mucho menor– de nuevas variables (factores), sin pérdida importante de información de los ítems originales (Campo, Herazo, & Oviedo, 2012).

Gestión del conocimiento. Se dedica a los procesos de administración del conocimiento en general; es decir, al conocimiento de los procesos, las personas y los documentos, sin considerar un tratamiento especial para el conocimiento protegido (Henao, Rivera, & Uribe, 2017).

Proceso analítico en red (ANP). Es una generalización del proceso de análisis jerárquico (AHP). Muchos problemas de decisión no pueden estructurarse jerárquicamente porque implican la interacción y la dependencia de elementos de nivel superior en una jerarquía de elementos de nivel inferior. Por lo tanto, el ANP está representado por una red en lugar de una jerarquía (Saaty, 2006).

De otro lado, en los últimos años los investigadores están buscando nuevas alternativas metodológicas para medir las capacidades de innovación, por cual materias como evaluación integral difusa, proceso de análisis jerárquico (AHP) y análisis envolvente de datos (DEA) están decreciendo. Por **último**, los temas nacientes o que solo se observan en el segundo periodo de análisis y evidencian la aparición de nuevos mecanismos para medir CIT en diversas áreas del conocimiento, son:

Agrupación jerárquica. Es un método utilizado para el agrupamiento de datos en investigaciones de *big data*

y minería de datos. Se utiliza con el objetivo de establecer una jerarquía de agrupamientos (Zhang, Murtagh, Van Poucke, Lin, & Lan, 2017).

Información difusa lingüística 2-tupla. Permite solucionar el problema de la pérdida de información al operar con información lingüística. Este modelo intenta mejorar el modelo simbólico clásico del enfoque lingüístico difuso. El modelo se ha utilizado satisfactoriamente para tratar información lingüística multigranular, lingüística no balanceada y heterogénea (Peña, Rodríguez, & Piñeros, 2016).

Red neuronal BP. Es un sistema no lineal que simula el algoritmo de procesamiento de información del cerebro. Cuenta con un potente sistema de almacenamiento y distribución de la información, además de un procesamiento paralelo y una capacidad de aprendizaje adaptativo.

Debido a su estructura simple y su técnica madura, se ha aplicado ampliamente en el reconocimiento de patrones, el control inteligente y otras áreas (Chen, 2014).

Dentro de los resultados del análisis bibliométrico, se encontró que las investigaciones sobre CIT están cobrando vigencia en los últimos años y son de interés para revistas tratan temáticas diversas y también para varios autores. Después de hacer el análisis bibliométrico se hizo la revisión exploratoria de los 86 artículos encontrados con la ecuación de búsqueda propuesta. Se identificó que 56 de ellos mencionan mecanismos para medir CIT en las organizaciones. A continuación, se presenta un cuadro resumen de algunos artículos (Tabla 2), los cuales fueron seleccionados según su afinidad con la temática. Para la construcción de esta tabla se tomaron elementos conceptuales y aspectos estadísticos de cada autor analizado.

Tabla 2
Medición de capacidades de innovación tecnológica

Nombre del artículo	Temática	CIT medida	Mecanismo utilizado
Fuzzy multiattribute analysis for evaluating firm technological innovation capability (Lu, Chen, & Wang, 2007).	Evaluar cuantitativa y cualitativamente el rendimiento de las CIT en una empresa de alta tecnología, mediante el establecimiento de un marco de análisis multicriterio.	–Aprendizaje –I+D –Producción –Mercadeo –Organización –Asignación de recurso –Planeación estratégica	Se utiliza el proceso de análisis jerárquico (AHP) para determinar la ponderación de todos los aspectos y criterios de desempeño de la innovación. La teoría de conjuntos difusos se aplica luego para hacer juicios subjetivos de los evaluadores y se aplica el método de toma de decisiones de atributos múltiples (MADM) para evaluar.
Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty (Wang et al., 2008).	Medir el rendimiento de las CIT en empresas de alta tecnología.	I+D –Producción –Mercadeo –Asignación de recurso –Planeación estratégica	Se utiliza un modelo que aplica una medida difusa y un método integral difuso no aditivo, para evaluar las capacidades de innovación tecnológica.
The Evaluation for Enterprise Technological Innovation capabilities based on Analytic Hierarchy Process Technology (He & Luo, 2010).	Evaluar experimentalmente las capacidades de innovación tecnológica en una empresa de la provincia de Zhejiang.	–I+D –Producción –Mercadeo –Gestión	Se utiliza el proceso de análisis jerárquico (AHP) para la evaluación de las capacidades de innovación tecnológica.
Technological Innovation Capabilities and Firm Performance (Yam, Lo, Tang, & Lau, 2010).	Examinar la relevancia de las capacidades de innovación tecnológica en el desempeño empresarial.	–Aprendizaje –I+D –Producción –Mercadeo –Organización –Asignación de recurso –Planeación estratégica	Los datos se obtuvieron mediante encuestas y para el análisis de datos se utilizó una correlación de variables.
An Evaluation Method on Technological Innovation Capability of Software Companies using AHP and GRA (Li, Ye, & Sun, 2010)	Proponer un sistema de evaluación de las Capacidades de Innovación Tecnológica en una empresa de software.	–I+D –Asignación de recurso –Mercadeo	Se utiliza el proceso de análisis jerárquico (AHP) y el análisis relacional de Gray para evaluar las capacidades de innovación tecnológica.
Methodological Tool for Measurement and Assessment of Technological Innovation Capabilities (Robledo, Zambrano, & Vélez, 2011).	Presentar una herramienta metodológica que permite identificar y clasificar las variables necesarias para medir y evaluar las capacidades de innovación tecnológica.	–Aprendizaje –I+D –Producción –Mercadeo –Organización –Asignación de recurso –Planeación estratégica	Se propone un marco analítico para evaluar las capacidades innovación tecnológica y se utiliza lógica difusa para el procesamiento de los datos.

Continúa

Tabla 2
Medición de capacidades de innovación tecnológica

Nombre del artículo	Temática	CIT medida	Mecanismo utilizado
Research on the Evaluation Index System of Technological Innovation Capability in Cement Industry (Xu & Hua, 2013).	Construir un modelo de sistema para la evaluación de la capacidad de innovación tecnológica para la industria de cemento	–I+D –Producción –Mercadeo –Gestión –Entrada de la innovación –Salida de la innovación	Propone un modelo de evaluación de capacidades de innovación, basado en la teoría de procesos y la teoría de sistemas.
A study on the evaluation of technological innovation capability of regional high tech enterprise based on factor analysis (Su, Zhiwei, & Xin, 2014).	Evaluar las capacidades de innovación tecnológica de empresas de alta tecnología.	–Apoyo –I+D –Producción –Salida	Se utiliza el análisis factorial para medir las capacidades de innovación tecnológica.
Measuring organizational capabilities for technological innovation through a fuzzy inference system (Serrano, Acevedo, Castelblanco, & Arbeláez, 2017).	Implementar un sistema de inferencia difusa para el diagnóstico organizacional de las capacidades de innovación tecnológica en una institución universitaria.	–Aprendizaje –I+D –Producción –Mercadeo –Organización –Asignación de recurso –Planeación estratégica	Los datos se obtuvieron a través de una entrevista. Para medir las capacidades de innovación tecnológica se utiliza un sistema de inferencia difusa.
Evaluation of relative technological innovation capability: Model and case study for China's coal mine (Wang & Zhang, 2018).	Evaluación relativa de las capacidades de innovación tecnológica, tomando como modelo y caso de estudio la mina de carbón de China.	–I+D –Organización –Asignación de recurso –Planeación estratégica	Se utiliza el análisis envolvente de datos (DEA) para medir las capacidades de innovación tecnológica.

Fuente: elaboración propia con base en los autores mencionados

Según la tabla anterior, las CIT pueden ser medidas mediante variables cualitativas y cuantitativas. En la mayoría de los artículos analizados, se resalta la importancia de medir las siguientes CIT: aprendizaje, I+D, producción, mercadeo, organización, asignación de recurso y planeación estratégica, las más importantes para lograr la competitividad y el desempeño empresarial.

La utilización de mecanismos para medir las CIT, les permite a las organizaciones medir el conocimiento incorporado en el cerebro de las personas (Moreno & García, 2014). De acuerdo con los resultados del análisis bibliométrico y del análisis exploratorio de los artículos, existen numerosos mecanismos para medir las capacidades de innovación tecnológica. Los principales, son: el análisis de componentes principales, el proceso de análisis jerárquico (AHP), la evaluación integral difusa, el modelo de red neuronal, el análisis de relaciones de Gray y el análisis de envolvente de datos (DEA), entre otros. En general, cada método tiene sus ventajas y desventajas, razón por la cual cada empresa deberá elegir los mecanismos que va a usar internamente con base en las características y variables propias de cada sector (Xu & Hua, 2013). A continuación, se describen algunos mecanismos utilizados para medir las capacidades de innovación.

Análisis envolvente de datos (DEA)

Es una técnica basada en programación lineal cuyo propósito es ayudar a maximizar la eficiencia de cada unidad de toma de decisiones (DMU). Cada DMU podría ser una unidad funcional, un proceso o un grupo que demanda entradas y suministra salidas (Aristizábal, Castro, Echeverri, & Valencia, 2017).

Análisis relacional de Gray

Es una técnica eficaz que se puede utilizar para ayudar a la toma de decisiones entre factores complejos con información insuficiente. GRA se calcula de acuerdo con el nivel de variabilidad y similitud (Li *et al.*, 2010).

Evaluación integral difusa

Es un método que combinación el proceso de análisis jerárquico (AHP) y los métodos de evaluación difusa para sintetizar datos de rendimiento y datos de respuesta subjetiva (Zhou & Chan, 2017).

Lógica difusa

Es la lógica aplicada a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de

valores que oscilan entre dos extremos: la verdad absoluta y la falsedad total. Conviene recalcar que lo que es difuso, borroso, impreciso o vago no es la lógica en sí, sino el objeto que estudia: expresa la falta de definición del concepto al que se aplica. Los algoritmos basados en lógica difusa combinan variables de entrada definidas en términos de conjuntos difusos, por medio de grupos de reglas que producen uno o varios valores de salida (Aguirre, 2010).

Proceso de análisis jerárquico (AHP)

Permite subdividir un problema complejo en sus componentes o niveles y los organiza en un orden jerárquico ascendente. En cada nivel de la jerarquía, los componentes se comparan entre sí mediante un esquema de comparación por pares. Los componentes de un nivel dado son relacionados con un nivel superior adyacente y así generar una integración a través de los niveles de la jerarquía (Saaty, 2006).

Dentro de los mecanismos identificados para medir las capacidades de innovación tecnológica en las organizaciones, es evidente la preferencia de los investigadores por la lógica difusa y por el proceso de análisis jerárquico. Se tienen metodologías que incorporan elementos de la lógica difusa en el proceso de análisis jerárquico, lo que permite evaluar criterios cualitativos y cuantitativos de manera simultánea, favoreciendo así el tratamiento de las condiciones y la incertidumbre que se pueda presentar en la medición de capacidades de innovación. Al mismo tiempo, juntar ambas metodologías permite estructurar, medir y sintetizar problemas en los que es necesario clasificar, priorizar o evaluar varias alternativas mediante múltiples criterios, convirtiéndose así en una herramienta adecuada para la toma de decisiones (Botero, 2013).

Conclusiones

Las capacidades de innovación tecnológica son consideradas un factor fundamental en el desarrollo de las organizaciones, pues abarcan aspectos como la tecnología, los productos, el conocimiento, la experiencia y la estrategia. Pueden ser medidas mediante variables cualitativas y cuantitativas, entre las cuales las capacidades de I+D, la producción, el mercadeo, la organización, la asignación de recurso y la planeación estratégica son las más importantes para lograr la competitividad empresarial.

Los resultados de este análisis bibliométrico se limitan y aplican solo para la ecuación de búsqueda definida, para el período de tiempo establecido y para las publicaciones

disponibles en la base de datos *Scopus*. Por ende, es posible que no se incluyeran en este análisis artículos de revistas relacionadas con la temática que no se encuentren indexadas en dicha base de datos.

Según los indicadores de cantidad, hay una tendencia creciente en el número de publicaciones en los últimos años, por lo tanto se puede considerar que el tema es de interés actual para las organizaciones. Otro aspecto por resaltar es que el conocimiento no se encuentra concentrado en revistas o autores. De acuerdo con los indicadores de calidad hasta el momento, el artículo con mayor impacto es *Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty*, escrito por Chunhsien Wang, Luanyuan Lu y Chiebin Chen y publicado por *Technovation* en el 2008. Al evaluar el comportamiento de las palabras clave, se encontró que áreas como red neuronal BP, información difusa lingüística 2-tupla y agrupación jerárquica, pueden considerarse como nuevos mecanismos para medir las CIT en diversos ámbitos del conocimiento.

De acuerdo con los artículos analizados, las capacidades de innovación tecnológica pueden ser mediadas utilizando el análisis envolvente de datos (DEA), la lógica difusa y los procesos de análisis jerárquicos, entre otros. Sin embargo, cada empresa puede proponer una herramienta que permita medir sus capacidades con base en las características y variables propias de cada sector al que pertenece.

Finalmente, se concluye que el tema es relevante para las organizaciones, pues las capacidades de innovación tecnológica potencializan la innovación, el desarrollo tecnológico, la generación de conocimiento, la investigación y por ende, generan ventajas competitivas y un mejor desempeño empresarial.

Referencias

- Adler, P., & Shenbar, a. (1990). Adapting your technological base: the organizational challenge. *Sloan Management Review*, 32(1), 25–37. <https://doi.org/10.1080/14783363.2013.791102>
- Aguirre, J. (2010). *Metodología para medir y evaluar las capacidades tecnológicas de innovación aplicando sistemas de lógica difusa caso fábricas de software*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/1883/>
- Aristizábal, D., Castro, M., Echeverri, P., & Valencia, J. (2017). Assessing the efficiency of science, technology and innovation using Data Envelopment Analysis (DEA): The case of Colombia. *DYNA*, 84, 215–220. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/1883/>

- scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532017000300215&nrm=iso
- Botero, J. (2013). *Metodología para medir y evaluar las Capacidades de Innovación Tecnológica en Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud bajo un enfoque de lógica difusa*. Universidad Nacional de Colombia.
- Campo, A., Herazo, E., & Oviedo, H. (2012). Análisis de factores: fundamentos para la evaluación de instrumentos de medición en salud mental. *Revista Colombiana de Psiquiatria*, 41, 659–671. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74502012000300015&nrm=iso
- Chen, M. (2014). An Improved BP Neural Network Algorithm and its Application. *Applied Mechanics and Materials*, 543–547, 2120–2123. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.543-547.2120>
- Corrales, I., Fornaris, Y., & Reyes, J. (2017). Análisis bibliométrico de la revista investigación en educación médica. Periodo 2012-2016. *Investigación En Educación Médica*, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.riem.2017.02.003>
- Domínguez, L., & Brown, F. (2004). Medición de las capacidades tecnológicas en la industria mexicana. *Revista de La CEPAL*, 83, 135–151.
- Durieux, V., & Gevenois, P. (2010). Bibliometric Indicators : Quality Measurements of of Scientific Publication. *Radiology*, 255(2), 342–351.
- Ellegaard, O., & Wallin, J. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105(3), 1809–1831. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>
- Flor, M., & Oltra, M. J. (2005). The influence of firms' technological capabilities on export performance in supplier-dominated industries : the case of ceramic tiles firms. *Management*, 333–348. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2005.00393.x>
- García, O., Quintero, J., & Arias, J. (2014). Capacidades de innovación, desempeño innovador y desempeño organizacional en empresas del sector servicios. *Cuadernos de Administración*, 27(49), 87–108.
- Gómez, M. (2011). *Evolución de las capacidades de innovación en la industria colombiana: Un análisis comparativo de los resultados de las encuestas de innovación de 1996 y 2005*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/>. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Guan, J., & Ma, N. (2003). Innovative capability and export performance of Chinese firms. *Technovation*, 23(9), 737–747. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(02\)00013-5](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(02)00013-5)
- Guan, J., Yam, R., Mok, C., & Ma, N. (2006). A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on DEA models. *European Journal of Operational Research*, 170(3), 971–986. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.054>
- Hall, M. (2011). Publish and perish? Bibliometric analysis, journal ranking and the assessment of research quality in tourism. *Tourism Management*, 32(1), 16–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.07.001>
- He, J., & Luo, H. (2010). The evaluation for enterprise technological innovation capabilities based on analytic hierarchy process technology. *The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*. <https://doi.org/10.1109/iccae.2010.5451861>
- Henao, M., Rivera, P., & Uribe, B. (2017). Knowledge management processes and intellectual property management processes: an integrated conceptual framework. *AD-Minister*, 31, 137–160.
- Kim, L. (2001). *La dinámica del aprendizaje tecnológico en la industrialización*. *Revista Internacional de Ciencias Sociales, UNESCO* (Vol. 168).
- Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. *World Development*, 20(2), 165–186. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(92\)90097-F](https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90097-F)
- Li, Q., Ye, D., & Sun, M. (2010). An Evaluation Method on Technological Innovation Capability of Software Companies Using AHP and GRA. *2010 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 66–69. <https://doi.org/10.1109/iciim.2010.338>
- Lu, I.-Y., Chen, C.-B., & Wang, C.-H. (2007). Fuzzy multiattribute analysis for evaluating firm technological innovation capability. *Int. J. Technology Management*, 40, 114–130.
- Monteserín, B. (2016). *Políticas y prácticas de publicación en Cirugía Oral y Maxilofacial: estudio comparativo*. Ediciones Universidad de Salamanca.
- Moreno, S., & Garcia, A. (2014). Sistema para la evaluación de Capacidades de Innovación en Pymes de Países en Desarrollo: Caso Panamá. *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, XXII(2), 109–122.
- Peña, M., Rodríguez, C., & Piñeros, P. (2016). Computación con palabras para el análisis de factibilidad de proyectos de software. *Tecnura*, 20(50), 69–84. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a05>
- Pinto, M., & Fernandes, S. (2015). Bibliometrics and Scientometrics. *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries (QQML)*, 161–169.
- Robledo, J., López, C., Zapata, W., & Pérez, J. (2010). Desarrollo de una Metodología de Evaluación de Capacidades de Innovación. *Perfil de Coyuntura Económica*, (15), 133–148.
- Robledo, J., Zambrano, J., & Vélez, J. (2011). Methodological tool for measurement and assessment of technological

- innovation capabilities. *2011 Proceedings of PICMET '11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET)*, 1–8.
- Saaty, T. (2005). Analytic Hierarchy Process. *Encyclopedia of Biostatistics*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>
- Saaty, T. (2006). *The Analytic Network Process*. *Iranian journal of operational research*. University of Pittsburgh. https://doi.org/10.1007/0-387-33987-6_1
- Serrano, J., Acevedo, C., Castelblanco, J., & Arbeláez, J. (2017). Measuring organizational capabilities for technological innovation through a fuzzy inference system. *Technology in Society*, 50, 93–109. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.05.005>
- Su, Y., Zhiwei, H., & Xin, W. (2014). A study on the evaluation of technological innovation capability of regional high tech enterprise based on factor analysis. *Bio Technology An Indian Journal*, 10(9), 3096–3103.
- Thompson, B. (2007). Factor Analysis. *The Blackwell Encyclopedia of Sociology*, 1–2. <https://doi.org/10.1002/9781405165518.wbeosf003>
- Wang, C., Lu, I., & Chen, C. (2008). Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. *Technovation*, 28(6), 349–363. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.10.007>
- Wang, W., & Zhang, C. (2018). Evaluation of relative technological innovation capability : Model and case study for China's coal mine. *Resources Policy*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.04.008>
- Winter, S. G. (2003). Understanding dynamic capabilities. *Strategic Management Journal*, 24(10 SPEC ISS.), 991–995. <https://doi.org/10.1002/smj.318>
- Xu, D. Q., & Hua, T. H. (2013). Research on the Evaluation Index System of Technological Innovation Capability in Cement Industry. *Applied Mechanics and Materials*, 268–270, 2075–2082. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.268-270.2075>
- Yam, R., Guan, J., Pun, K., & Tang, E. (2004). An audit of technological innovation capabilities in Chinese firms: Some empirical findings in Beijing, China. *Research Policy*, 33(8), 1123–1140. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.05.004>
- Yam, R., Lo, W., Tang, E., & Lau, A. (2010). Technological Innovation Capabilities and Firm Performance. *International Journal of Economics and Management Engineering*, 4(6), 1056–1064.
- Zhang, Z., Murtagh, F., Van Poucke, S., Lin, S., & Lan, P. (2017). Hierarchical cluster analysis in clinical research with heterogeneous study population: highlighting its visualization with R. *Annals of Translational Medicine*, 5(4), 75–86. <https://doi.org/10.21037/atm.2017.02.05>
- Zhou, R., & Chan, A. H. S. (2017). Using a fuzzy comprehensive evaluation method to determine product usability : A proposed theoretical framework, 56, 9–19. <https://doi.org/10.3233/WOR-162474>